

Ф.В. НОВИКОВ, д-р. техн. наук, проф., ХНЭУ, Харьков;
И.А. РЯБЕНКОВ, канд. техн. наук, ГП ХМЗ «ФЭД», Харьков;
В.С. ДЕРЯБИН, канд. техн. наук, ГП ХМЗ «ФЭД», Харьков.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ АЛМАЗНОГО РАСТАЧИВАНИЯ ОТВЕРСТИЙ В ДЕТАЛЯХ ГИДРОАППАРАТУРЫ

У роботі теоретично та експериментально обґрунтована ефективність застосування алмазних різців замість твердосплавних різців на операціях розточування бронзових втулок, використовуваних у деталях гідроапаратури, а також ефективність застосування процесу розточування отвору діаметром 6 мм у магнітному кільці твердістю HRC 62-63 замість процесу внутрішнього шліфування

In-process in and experimentally theory efficiency of application of diamond chisels is grounded instead of hard-alloy chisels on the operations of boring of bronze hobs, in-use in the details of gidroapparatury, and also efficiency of application of process of the rasta-chivaniya opening by a diameter 6 mm in a magnetic ring by hardness of HRC 62-63 instead of process of the internal polishing

В работе теоретически и экспериментально обоснована эффективность применения алмазных резцов взамен твердосплавных резцов на операциях растачивания бронзовых втулок, используемых в деталях гидроаппаратуры, а также эффективность применения процесса растачивания отверстия диаметром 6 мм в магнитном кольце твердостью HRC 62-63 взамен процесса внутреннего шлифования

Ключевые слова: Детали гидроаппаратуры, растачивание отверстия, алмазный инструмент, энергоёмкость обработки, точность обработки

Постановка проблемы. Изготовление высокоточных деталей гидроаппаратуры, выполненных из труднообрабатываемых материалов, требует применения эффективных наукоемких технологий механической обработки, обеспечивающих высокие показатели качества и производительности. Одним из наиболее перспективных направлений в этом плане является резание инструментами из синтетических сверхтвёрдых материалов (СТМ), которые обладают высокой твердостью, износостойкостью и теплопроводностью и позволяют существенно снизить силовую и тепловую напряженность процессов обработки различных по физико-механическим свойствам материалов: от пластичной меди до самого твердого в природе материала – алмаза [1,2]. Практикой установлено, что применение алмазных резцов на ряде операций обработки деталей гидроаппаратуры авиационного назначения позволяет повысить производительность и качество обработки и открывает новые технологические возможности их высококачественного изготовления. Поэтому целью работы является определение технологических возможностей эффективного использования инструментов из СТМ на финишных операциях обработки высокоточных деталей гидроаппаратуры.

Основная часть. Наиболее сложной в изготовлении является ответственная деталь гидроаппаратуры – блок цилиндров, выполненный из стали 7ХГ2ВМФ твердостью HRC 51...56 и содержащий 9 глухих отверстий, к точности обработки которых предъявляются высокие требования. Данные отверстия обрабатываются под диффузионное сваривание с втулками из бронзы Бр 010С2НЗ твердостью $HB \geq 75$. Традиционная технология включает растачивание отверстий и их последующее хонингование. Однако при этом не обеспечивается стабильно отклонение от цилиндричности в пределах 0,01 мм. Применение фрезерования твердосплавными концевыми фрезами отверстий на современном высокооборотном станке с ЧПУ мод. "Рисомах-60М" позволило решить данную проблему [3,4]. Вместе с тем, как показывает практика, существенным недостатком высококачественного изготовления блока цилиндров является низкая точность обработки отверстий в бронзовых втулках.

Согласно действующей технологии обработки отверстий в бронзовых втулках, первоначально производится их растачивание резцом из твердого сплава ВК8 с обеспечением погрешности формы обрабатываемой поверхности в пределах 10 мкм и шероховатости поверхности $R_a = 1,25$ мкм. Затем отверстие обрабатывается рейберами (методом пластического деформирования металла на фрезерном станке), что уменьшает погрешность формы обрабатываемой поверхности до 3-х мкм. После этого применяется доводка текстолитовым притиром пастой КТ. Данная технология характеризуется достаточно высокой трудоемкостью обработки, что связано в первую очередь с относительно низкими показателями точности обработки, достигаемыми на операции растачивания отверстий твердосплавным резцом на токарно-винторезном станке мод. 16К20. Для улучшения этих показателей приходится применять трудоемкий процесс рейберования. В связи с этим предложено на операции растачивания вместо твердосплавных резцов использовать алмазные резцы и обработку производить на высокооборотном обрабатывающем центре мод. "Рисомах-60М" ($n = 8000$ об/мин; $S = 0,03$ мм/об; снимаемый припуск при черновой обработке – 0,2 мм, а при чистовой обработке – 0,05 мм; количество проходов – 2).

Эффективность применения алмазных инструментов, как известно, обусловлена прежде всего низким коэффициентом трения f алмаза с обрабатываемым материалом, что согласно формуле проф. Зворыкина К.А., приводит к увеличению условного угла сдвига материала $\beta = 45^\circ + (\gamma - \psi) / 2$, где γ – передний угол инструмента; ψ – условный угол трения образующейся стружки с передней поверхностью инструмента ($tg \psi = f$). Это создает эффективные предпосылки снижения силовой и тепловой напряженности процесса резания, т.к. энергоемкость обработки (условное напряжение резания) σ связана с углом β зависимостью [5]: $\sigma = \sigma_{сж} / tg \beta$, где $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие обрабатываемого материала, МПа. Из зависимости сле-

дует, что чем больше угол β , тем меньше σ и соответственно тангенциальная $P_z = \sigma \cdot S$ и радиальная $P_y = \sigma \cdot S / K_{рез}$ составляющие силы резания, где S – площадь поперечного сечения среза, m^2 ; $K_{рез} = P_z / P_y = ctg(\psi - \gamma)$ – коэффициент резания. Между энергоемкостью обработки σ и коэффициентом резания $K_{рез}$ существует связь [5]: $\sigma = \sigma_{сж} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2}\right) / K_{рез}$. Поэтому тангенциальная $P_z = \sigma \cdot S$ и радиальная $P_y = \sigma \cdot S / K_{рез}$ составляющие силы резания в конечном итоге могут быть выражены через коэффициент резания $K_{рез}$ в соответствии с зависимостями: $P_z = \frac{\sigma_{сж} \cdot S}{K_{рез}} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2}\right)$; $P_y = \frac{\sigma_{сж} \cdot S}{K_{рез}^2} \cdot \left(1 + \sqrt{1 + K_{рез}^2}\right)$. Как видно, составляющие силы резания вполне однозначно определяются коэффициентом резания $K_{рез}$. С его увеличением они уменьшаются, причем, радиальная P_y составляющая силы резания – с большей интенсивностью. Поэтому основным путем уменьшения составляющих силы резания является уменьшение $K_{рез}$.

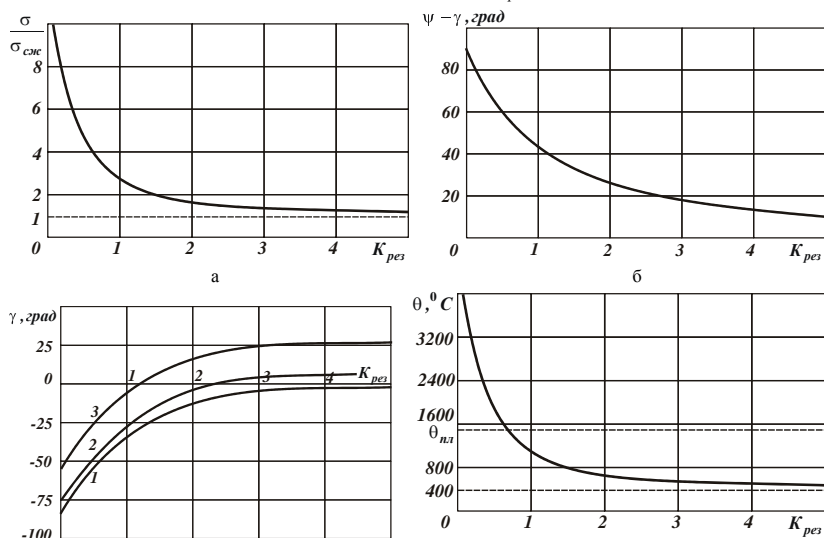


Рис. 1. Зависимости отношения $\sigma / \sigma_{сж}$ (а), угла $\psi - \gamma$ (б), переднего угла инструмента γ (в) и температуры резания θ (г) от коэффициента резания $K_{рез}$: 1 – $\psi = 10^\circ$ ($f = 0,176$); 2 – $\psi = 20^\circ$ ($f = 0,364$); 3 – $\psi = 40^\circ$ ($f = 0,839$); обрабатываемый материал – сталь ШХ15.

Расчетами установлено, что с увеличением $K_{рез} \rightarrow 10$ энергоемкость обработки σ уменьшается фактически до значения $\sigma_{сжс}$ (рис. 1,а). Увеличить $K_{рез} = P_z / P_y = ctg(\psi - \gamma)$ можно уменьшением разности углов $(\psi - \gamma)$, рис. 1,б.

Для алмаза коэффициент трения f может принимать значение 0,1. Тогда условный угол трения ψ образующей стружки с передней поверхностью инструмента (исходя из зависимости $tg \psi = f$) равен 6° , а коэффициент резания $K_{рез}$ (при $\gamma = 0$) – равен 10. Это указывает на то, что при резании алмазным инструментом может быть реализовано условие $\sigma \rightarrow \sigma_{сжс}$, при котором толщина среза фактически равна толщине стружки, а разрушение обрабатываемого материала подчиняется условию разрушения материала на сжатие. Таким образом показано, что применение алмазного инструмента потенциально позволяет реализовать минимальную энергоемкость обработки σ при нулевом и даже отрицательном переднем угле инструмента γ (рис. 1,в). В результате достигается двойной эффект обработки: уменьшается силовая напряженность процесса резания и появляется возможность повышения прочности режущего клина инструмента и его износостойкости за счет применения нулевого и даже отрицательного переднего угла γ . Кроме того, уменьшение энергоемкости обработки σ ведет к уменьшению температуры резания $\theta = \sigma \cdot z / c \cdot \rho$ [6], где c – удельная теплоемкость обрабатываемого материала, Дж/(кг·К); ρ – плотность обрабатываемого материала, кг/м³; z – относительная величина температуры, изменяется в пределах 0...1 и определяется из уравнения $\bar{l}_1 = c \cdot \rho \cdot a \cdot V \cdot tg \beta / \lambda = -\ln(1-z) - z$; \bar{l}_1 – безразмерная величина; a – толщина среза, м; V – скорость резания, м/с; λ – коэффициент теплопроводности обрабатываемого материала, Вт/(м·К).

Расчетами установлено, что с увеличением параметров a, V и β относительная величина температуры z увеличивается, асимптотически приближаясь к значению $z \rightarrow 1$ (рис. 2). Следовательно, чем меньше условный угол сдвига материала β , тем меньше относительная величина температуры z и соответственно температуры резания θ . Из этого вытекает, что при резании алмазным инструментом, вследствие уменьшения условного угла сдвига материала β , появляется возможность уменьшения величины z и температуры резания θ . Это также позволяет увеличить скорость резания V и соответственно производительность обработки при заданном значении температуры резания θ . Таким образом показано, что уменьшение температуры резания θ происходит по двум каналам: путем уменьшения энергоемкости обработки σ и уменьшения относительной величины температуры z , хотя в обоих случаях первопричиной уменьшения θ является уменьшение условного угла

сдвига материала β (определяющего параметры σ и z).

При существенном увеличении скорости резания V относительная величина температуры $z \rightarrow 1$. Тогда зависимость для определения температуры резания θ принимает упрощенный вид $\theta = \sigma / c \cdot \rho$. На рис. 1,г приведены рассчитанные по данной зависимости значения температуры резания θ с учетом значений σ , графически представленных на рис. 1,а. Как видно, с увеличением коэффициента резания $K_{рез}$ температура резания θ непрерывно уменьшается, принимая при $K_{рез} > 1$ значения, меньшие температуры плавления $\theta_{пл}$ обрабатываемого материала. Из этого вытекает, что определяющим параметром в зависимости $\theta = \sigma \cdot z / c \cdot \rho$ является энергоемкость обработки σ , поскольку даже при $z=1$ температура резания θ за счет уменьшения σ может быть уменьшена до приемлемых значений. Следовательно, важнейшим условием уменьшения θ необходимо рассматривать применение алмазных инструментов, обеспечивающих снижение энергоемкости обработки σ путем уменьшения условного угла сдвига материала β (вследствие снижения интенсивности трения образующейся стружки с передней поверхностью инструмента).

Глубина проникновения тепла в поверхностный слой обрабатываемой детали l_2 (определяющая толщину нарушенного поверхностного слоя материала) выражается зависимостью [6]: $l_2 = a \cdot z / \bar{l}_1$. Расчетами установлено, что с увеличением скорости резания V параметр l_2 уменьшается, а с уменьшением толщины среза a , наоборот, увеличивается (рис. 2). Поэтому с целью повышения качества обработки скорость резания V необходимо увеличивать, осуществляя режим высокоскоростного резания. Как отмечалось выше, это условие с наибольшей эффективностью может быть реализовано при резании алмазным инструментом.

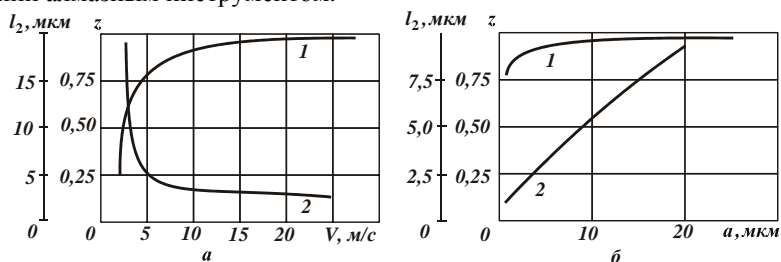


Рис. 2. Зависимости относительной величины температуры z (1) и параметра l_2 (2) от скорости резания V (а) и толщины среза a (б) при резании закаленной стали ШХ15 (коэффициент теплопроводности $-\lambda / c \cdot \rho = 8,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\text{tg} \beta = 0,25$): а –

$a = 5 \text{ мкм}$; б – $V_{кр} = 27,5 \text{ м/с}$.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что благодаря уникальным режущим свойствам алмазного резца, в процессе алмазного растачивания бронзовых втулок снижается силовая и тепловая напряженность процесса, а стойкость алмазного резца по отношению к твердосплавному резцу увеличивается более чем в 5 раз. Это стабильно обеспечивает погрешность формы обрабатываемой поверхности на уровне 1...2 мкм и шероховатость поверхности $R_a = 1,25$ мкм. При этом исключается волнообразность на обрабатываемой поверхности, которая постоянно имела место в процессе рейберования, обеспечиваются допуски овальности и конусности, прямолинейности и разноразмерности 9-ти отверстий (которые находятся в пределах 5 мкм). Применение алмазного растачивания позволяет исключить трудоемкую операцию рейберования. В результате предложенный технологический процесс обработки отверстий в бронзовых втулках включает лишь операции растачивания алмазным резцом и доводку пастой КТ.

Применение алмазных резцов взамен твердосплавных резцов при подрезке плоского торца бронзовой втулки также позволяет уменьшить погрешность формы обрабатываемой поверхности и обеспечить допуск плоскостности торца 5 мкм, шероховатость поверхности $R_a = 0,4$ мкм. В результате снижаемый припуск может быть уменьшен в 3 раза. Это позволяет окончательную обработку производить алмазным резцом, а предварительную – твердосплавным резцом. Традиционно подрезка плоского торца бронзовой втулки осуществляется твердосплавными резцами на токарно-винторезном станке мод. ТВ-125П ($n = 1000$ об/мин; $S_{черн} = 0,1$ мм/об; $S_{чист} = 0,05$ мм/об). При использовании алмазного резца обработку рекомендуется производить на современном токарном станке "Spinner" TC-600.

Доводка торца в размер производится пастой КТ 3/2 (ТУ 2-037-273-88) путем притирки на стеклянной плите с последующей полировкой торца на бумаге (смоченной керосином) пастой КТ 1/0. Вследствие перехода к обработке отверстия и торца бронзовой втулки алмазным резцом появляется возможность уменьшить машинное время в 2 раза (до 0,8 часа), а повышение стабильности параметров точности и шероховатости поверхности позволяет повысить износостойкость деталей пар трения.

Полученные результаты были использованы для совершенствования операций обработки внутренних цилиндрических поверхностей деталей гидроаппаратуры, в частности, для обработки отверстия в магнитном кольце с наружным диаметром 20 мм и внутренним диаметром 6 мм, изготовленном из сплава АНКОЗА твердостью HRC 62-63. Данное кольцо является ответственной деталью насос-регулятора. Традиционно отверстие в кольце обрабатывается методом шлифования абразивным кругом ПП 10x20x3 25А 16СТ, который предварительно подвергается правке для получения наружного диаметра менее 6 мм. Процесс внутреннего шлифования протекает с высокой силовой и тепловой напряженностью, что приводит к интенсивному износу круга, быстрой потере его режущей способности и фактически к невозмож-

ности стабильно обеспечить требуемые параметры качества обработки. В связи с этим предложено перейти от шлифования к расточке отверстия твердосплавным резцом производства фирмы ISKAR. Проведенные исследования показали положительные результаты в плане повышения качества и производительности обработки. В процессе расточки стабильно обеспечивается шероховатость поверхности на уровне 7-го класса чистоты, что не достигалось при шлифовании. Поэтому предложено твердосплавные резцы фирмы ISKAR использовать при окончательной обработке со съемом припуска величиной 0,2 мм, а предварительную обработку выполнять с применением резцов из твердого сплава T15K6, обеспечивающих высокую размерную стойкость. При предварительной обработке обеспечивается изменение диаметра отверстия с 6 до 8,2 мм, а при окончательной обработке – до 8,5 мм.

Выводы. В работе теоретически и экспериментально обоснованы условия эффективного использования алмазных резцов взамен твердосплавных на операциях расточки отверстий деталей гидроаппаратуры. Показано, что эффект обработки, обусловленный снижением силовой и тепловой напряженности процесса резания, достигается благодаря снижению интенсивности трения сходящей стружки с передней поверхностью резца и соответственно увеличению условного угла сдвига материала β и уменьшению энергоемкости обработки σ . Расчетами установлено, что с увеличением коэффициента резания $K_{рез}$ (равного отношению тангенциальной и радиальной составляющих силы резания) энергоемкость обработки непрерывно уменьшается и при $K_{рез} \rightarrow 10$ принимает значения, близкие к пределу прочности на сжатие обрабатываемого материала. Этим объясняются многочисленные экспериментальные данные (опубликованные в научно-технической литературе) об уменьшении сил и температуры резания при алмазной лезвийной обработке.

В работе экспериментально установлено, что применение алмазных резцов на операции расточки отверстий в бронзовых втулках обеспечивает высокие требования по точности и шероховатости обрабатываемой поверхности, чего ранее не достигалось при резании твердосплавными резцами. Это позволяет исключить трудоемкую промежуточную операцию рейберования, осуществляя сразу после операции алмазной расточки доводку пастой КТ с обеспечением требований по точности и шероховатости обработки. В работе также обоснована эффективность применения процесса растачивания отверстия диаметром 6 мм в магнитном кольце твердостью HRC 62-63 взамен процесса внутреннего шлифования.

Список литературы: 1. Синтетические сверхтвердые материалы: В 3-х т. Т.3. Применение синтетических сверхтвердых материалов / Редкол.: Н.В. Новиков (отв. ред.) и др. – К.: Наук. думка, 1986. – 280 с. 2. Зубарь В.П., Тимчук А.Г., Чопенко М.В. Лезвийная обработка закаленных сталей и чугунов взамен шлифования // Сучасні технології в машинобудуванні. – 36. наук. праць. – Харків: НТУ “ХПІ”. – Вип. 5. – 2010. – С. 32-38. 3. Рябенков І.О. Підвищення ефективності фінішної обробки деталей гідроапаратури на основі вибору раціональної структури і параметрів операцій: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.08 “Технологія машинобудування” / І.О. Рябен-

ков. – Одеса, 2009. – 21 с. 4. Новиков Ф.В., Рябенков И.А., Дерябин В.С., Машко А.А. Концепции развития механической обработки высокоточных изделий // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – “Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні”. – 2010. – Вип. 101. – С. 234-240. 5. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В десяти томах. – Т. 1. “Механика резания материалов” – Одесса: ОНПУ, 2002. – 580 с. 6. Новиков Ф.В., Яценко С.М. Повышение эффективности технологии финишной обработки деталей пар трения поршневых насосов // Физические и компьютерные технологии. – Труды 13-й Международной научно-технической конференции. – Харьков: ХНПК “ФЭД”, 2007. – С. 8-20.

Поступила в редколлегию 5.05.2011г.

УДК 621.923

Г.В. НОВИКОВ, канд. техн. наук, Науч. центр НТК “Эльбор”, Харьков.

ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АЛМАЗНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ ПРИРОДНЫХ АЛМАЗОВ В БРИЛЛИАНТЫ

Узагальнено практичний досвід ефективного застосування електроерозійного виправлення алмазних кругів на металевій зв'язці при обробці природних алмазів у діаманти, наведені конкретні практичні рекомендації

Practical experience of effective application of electro-erosive correction of diamond circles is generalized on a metallic copula at treatment of natural diamonds in diamonds, concrete practical recommendations are resulted

Обобщен практический опыт эффективного применения электроэрозионной правки алмазных кругов на металлической связке при обработке природных алмазов в бриллианты, приведены конкретные практические рекомендации

Ключевые слова: Шлифование, природный алмаз, алмазный круг, электроэрозионная правка, производительность обработки

Введение и постановка задачи. С организацией промышленного производства синтетических алмазов шлифование металлических и неметаллических труднообрабатываемых материалов (твердых сплавов, природных алмазов, изделий из стекла и хрусталя и т.д.) осуществляется фактически кругами из синтетических алмазов, которые в силу их высокой твердости и остроты режущих кромок обеспечивают обработку с низкой силовой и тепловой напряженностью процесса и высоким качеством обрабатываемых поверхностей [1, 2]. Вместе с тем, для эффективного применения алмазных кругов на высокопрочных металлических связках требуется их качественная подготовка к работе, включающая устранение биения, вскрытие алмазонасного слоя, поддержание высокой режущей способности круга в процессе